

Title	Development of transformation method of multispectral imagery into hyperspectral imagery for detailed identification of metal and geothermal resources-related minerals(Abstract_要旨)
Author(s)	Nguyen, Tien Hoang
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2017-09-25
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k20688
Right	学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2019-09-30に公開; 許諾条件により要約は2018-07-31に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士（工学）	氏名	Nguyen Tien Hoang
論文題目	Development of transformation method of multispectral imagery into hyperspectral imagery for detailed identification of metal and geothermal resources-related minerals（金属と地熱資源関連鉱物の詳細抽出を目的としたマルチスペクトル画像からハイパースペクトル画像への変換法の開発）		
<p>Hyperspectral remote sensing is superior to multispectral remote sensing because of continuous reflectance spectra that enable detailed, precise mapping of the earth surface compositions. Because of this spectral feature, hyperspectral remote sensing has been applied to various fields, particularly land surveys including mineralogy, biology, and environmental monitoring. However, hyperspectral imagery has a shortcoming of swath width, which is much narrower than multispectral imagery. In addition, no hyperspectral imager has covered entirely the earth surface. These conditions point to a need for hyperspectral transformation of multispectral images to extrapolate the coverage area of hyperspectral imagery. Landsat series imagery is the most suitable data source of this transformation, because it represents the longest-operating earth observation that has accumulated high-quality images for all the land areas. Based on those background, this dissertation completes the results of a study that has developed a new method, Pseudo-Hyperspectral Image Transformation Algorithm (PHITA), to transform multispectral imagery into pseudo-hyperspectral imagery. This advanced method contributes to more detailed identification of minerals and mineral deposit exploration than traditional multispectral remote sensing. This dissertation is composed of the following six chapters.</p> <p>Chapter 1 summarizes important backgrounds to understand the goals of the dissertation. Simulation of a hyperspectral image from a multispectral image is an innovative technique by compensating the disadvantages of each image type. Although several preceding studies have succeeded in simulating a hyperspectral image from a multispectral image, they verified their methods only for the overlapped areas of both the images. In this study, PHITA was validated even for areas outside the original coverage of hyperspectral image.</p> <p>Chapter 2 explains in detail the development of PHITA to transform a multispectral image into a pseudo-Hyperion image using correlations between band reflectance data in their overlapped area. Landsat 7 ETM+ and Hyperion images are selected as an example for the transformation. Effectiveness of the hyperspectral transformation was multiply evaluated by general image appearance, spectral reconstruction, statistical indices, and mineral mapping. The validation methods and data preprocessing are also presented in this chapter.</p> <p>Chapter 3 demonstrates and discusses the results of the Hyperion image transformation from ETM+ image by PHITA. The resultant pseudo-image has a number of high-quality Hyperion bands of the same scene size as the ETM+ image. The pseudo-Hyperion image was proven very similar to the original band reflectances, because of large Pearson's correlation coefficients (generally > 0.94), small RMS error (mostly < 0.016), high structural similarity, and similar appearance of the color composite image. Using a reference mineral map built from an AVIRIS image and field surveys as ground truth, an advantage of the pseudo-image is clarified for the Cuprite hydrothermal alteration area in the western United States. The</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Nguyen Tien Hoang
<p>identification and mapping accuracies of metal deposit-related minerals were high even in areas outside the original Hyperion scene.</p> <p>Chapter 4 extends the PHITA to transform Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI, and EO-1 ALI sensor images into pseudo-Hyperion images. By choosing a part of the Fish Lake Valley geothermal prospect area in the western United States for a case study, the pseudo-Hyperion images produced from the TM, ETM+, OLI, and ALI images by PHITA were confirmed to be applicable to a mineral mapping of geothermal resource exploration. Using a reference map as the ground truth, three main minerals (muscovite and chlorite mixture, opal, and calcite) were identified with high overall accuracies from the pseudo-images. The highest accuracy was obtained from the ALI image, followed by ETM+, TM, and OLI images in descending order. The TM, OLI, and ALI images can be alternatives to ETM+ imagery for the hyperspectral transformation that aids the production of pseudo-Hyperion images for areas without high-quality ETM+ images because of the scan line corrector failure, and for long-term global monitoring of land surfaces.</p> <p>Chapter 5 examines the capability of PHITA for simulating an airborne hyperspectral image, AVIRIS, from OLI and ASTER images and a possibility of joint spectral and spatial downscaling. In this experiment, PHITA follows the principles of supervised machine learning workflow with a training area in the United States and a validation area in the northern Chile. These are typical hydrothermal deposit areas. The pseudo-AVIRIS image has 205 bands and a downscaled spatial resolution of 15 m, half of the multispectral spatial resolution. Pseudo-reflectance spectra were generally agreeable with the original spectra. The OLI-based pseudo-image was superior in the spatial downscaling but inferior in the spectral downscaling. Using 4-m SASI-based mineral map as ground truth of the distribution of selected minerals, the ASTER-based pseudo-image was confirmed to be sufficiently applicable to mineral identification and mapping for an area that contains the Sierra Gorda Copper-Molybdenum Mine, a large porphyry copper deposit in the northern part of the study area.</p> <p>Finally, Chapter 6 summarized the essential results of each chapter as a grand conclusion of this study. Important future works are also discussed in this chapter to develop furthermore PHITA studies for global exploration of mineral and geothermal resources.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

地球観測衛星を利用したリモートセンシングは、金属鉱床や地熱資源の存在に関連する熱水変質鉱物を広域から抽出できるので、資源の一次探査法として広く適用されてきた。その中でも Landsat シリーズによる衛星データは全陸域にわたって多量に蓄積されている。しかし、これに代表されるマルチスペクトル衛星データでは、可視域から短波長赤外域にかけての観測波長帯（バンド）数が少なく、地表物質の識別精度が低いという欠点がある。一方、この波長帯で 200 バンド以上を有する Hyperion などのハイパースペクトル衛星データによれば鉱物の識別精度は高いが、観測は軌道直下の狭い範囲に限られ、広域調査には適していない。この問題に対して、本論文ではマルチスペクトルからハイパースペクトルに変換できる手法を開発したとともに、その応用によってハイパースペクトル画像が存在しない範囲でも資源関連鉱物の分布を推定できるようになった初めての地質リモートセンシング研究である。成果の概要は以下のとおりである。

1) マルチスペクトルとハイパースペクトルデータの各バンドでの反射率を多変量回帰式で関連付け、ベイズ理論、および誤差とパラメータ数のバランスから最適な関連式を選択するという手法（Pseudo-Hyperspectral Image Transformation Algorithm: PHITA）を開発したところ、数個の反射率データから反射スペクトルの一般的パターンが自動推定され、ハイパースペクトルのほぼ全てのバンドにおける反射率を決定係数 0.9 以上でシミュレートできることが実証できた。

2) アメリカ ネバダ州の熱水鉱床域と地熱資源域での Landsat TM, ETM+, OLI, EO-1 ALI データに PHITA を適用し、これらを擬似 Hyperion データに変換した。熱水鉱床域では明礬石・カオリナイト・方解石など、地熱資源域では白雲母・緑泥石・方解石・オパールなどの変質鉱物の分布が重要となるが、これらの鉱物の識別に必要となる 2~2.5 μm のバンドは上記の衛星データには一つしかないので、これまで識別は不可能であった。しかし PHITA によれば、Hyperion の撮影範囲外でも 95%以上の正解率で、これらの鉱物分布を明らかにできることがわかった。

3) さらに、バンド比演算による鉱物指標を地質タイプの補助情報として PHITA に組み込み、画像先鋭化法を併用することで、OLI と ASTER データの波長と空間分解能の両方のダウンスケーリングを図り、これをチリ北部の斑岩銅鉱床域に適用した。機械学習の手法を用いた結果、PHITA の学習域（ネバダ州の熱水鉱床域）から遠く離れた本地域においても、高空間分解能の航空機ハイパースペクトル AVIRIS データと同等の精度で、明礬石とカオリナイトの分布を特定できることがわかった。

以上、本論文で提案された PHITA の有用性と汎用性は高く、蓄積されたマルチスペクトル衛星データによる高精度の鉱物識別と詳細な分布マッピングを、乾燥・半乾燥の全域まで拡張し得る可能性を実証した研究として、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 8 月 29 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、（平成 31 年 9 月 30 日までの間）当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。